挤压膨化加工对菜籽粕中抗营养因子含量及膨化菜籽粕对生长育肥猪生长性能的影响[1]

倪海球[1]　杨玉娟[1,2]　于纪宾[1]　马世峰[1]　王　昊[1]　商方方[1]　李军国[1, 3*]

（1.中国农业科学院饲料研究所，北京 100081；2.农业部食物与营养发展研究所，北京 100081；3. 农业部饲料生物技术重点实验室，北京 100081）

摘　要：本试验旨在研究挤压膨化加工对菜籽粕（RM）中抗营养因子、营养物质含量以及膨化菜籽粕（ERM）对生长育肥猪生长性能、营养物质表观消化率的影响。试验 1：采用本实验室的 TSE65 双螺杆干法挤压膨化机和优化后的加工参数组合对饲料级 RM 进行挤压膨化加工，测定 RM 和 ERM 中的抗营养因子和营养物质含量。试验 2：以 RM 和 ERM 为主要试验材料，选取 72 头体重为（33.82±3.72） kg 的杜×长×大三元杂交猪，随机分成 6 组，每个组 3 个重复，每个重复 4 头猪。试验 1~6 周，1、3、5 组分别饲喂添加 6%、10%和 14% RM 的饲粮，试验 2、4、6 组分别饲喂添加 6%、10%和 14% ERM 的饲粮；试验 7~12 周，1、3、5 组分别饲喂添加 10%、14%和 18% RM 的饲粮，试验 2、4、6 组分别饲喂添加 10%、14%和 18% ERM 的饲粮。试验期为 12 周。结果表明：1)与 RM 相比，ERM 中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、钙和总磷含量都有所增加；ERM 中粗脂肪和干物质含量显著升高（$P<0.05$），半胱氨酸、赖氨酸和精氨酸含量显著降低（$P<0.05$），总氨基酸含量下降了 1.75%（$P>0.05$），硫苷和植酸含量显著降低（$P<0.05$），异硫氰酸酯和恶唑烷硫酮含量低于检测限 0.15 mg/g，单宁含量无显著变化（$P>0.05$）。2）1~6 周内，同等添加量下，2、4 组末重（FBW）显著高于 1、3 组（$P<0.05$）；4 组平均日采食量（ADFI）显著高于其余各组（$P<0.05$）；各组间平均日增重（ADG）和料重比（F/G）均无显著差异（$P>0.05$）；6 组粗蛋白质、粗脂肪和干物质表观消化率显著高于 5 组（$P<0.05$）；6 组除蛋氨酸、丝氨酸和谷氨酸表观消化率与 5 组差异不显著（$P>0.05$）外，其余氨基酸表观消化率均显著高于 5 组（$P<0.05$）。7~12 周内，同等添加量下，2、4 组 FBW 高于 1、3 组，6 组 FBW 低于 5 组，但差异均不显著（$P>0.05$）；2 组粗蛋白质、粗脂肪和干物质表观消化率显著高于 1 组

批注 [W用1]: 口恶？　拼字　下同

收稿日期：2017-01-14

基金项目：公益性行业（农业）科研专项（20120315）；现代农业产业技术体系北京市家禽创新团队项目；国家重点研发计划项目（2016YFF0201800）

作者简介：倪海球（1990—），男，江苏连云港人，硕士研究生，从事饲料加工与动物营养研究。E-mail: haiqiuni@163.com

*通信作者：李军国，研究员，硕士生导师，E-mail: lijunguo@caas.cn

（P<0.05）；2 组缬氨酸、异亮氨酸、赖氨酸、组氨酸、苏氨酸、天冬氨酸、酪氨酸、谷氨酸、甘氨酸、半胱氨酸、脯氨酸和总氨基酸表观消化率显著高于 1 组（P<0.05）。由此可见，挤压膨化加工能提高 RM 的营养价值并降低多种抗营养因子含量，在育肥猪饲粮中添加 ERM 可以提高育肥猪的生长性能和营养物质表观消化率。30~60 kg 的育肥猪饲粮中 ERM 适宜添加量为 10%，61~120 kg 的育肥猪饲粮中 ERM 适宜添加量为 14%。

关键词：膨化菜籽粕；生长育肥猪；抗营养因子；生长性能；表观消化率

中图分类号：S828

菜籽粕（rapeseed meal，RM）是猪、禽饲粮中极为宝贵的蛋白质饲料原料[1]，但其含有大量的粗纤维以及硫苷、单宁等多种抗营养因子，严重影响饲料的安全性、适口性和营养利用率，限制了 RM 在畜禽饲粮中的应用[2]。近年来，双低菜籽的培育使得菜籽中的硫苷、芥酸含量大幅降低，但单宁、植酸等抗营养因子含量与普通菜籽差别不大，目前还不能通过育种手段解决[3]，因此，寻求一种降低 RM 中抗营养因子含量，提高 RM 在畜禽饲粮中的添加量和蛋白质的利用率的加工方法具有重要意义。

挤压膨化技术是将物料经高温、高压、高剪切力处理，并挤出模孔或突然喷出压力容器，使之因骤然降压而实现体积膨大的操作工艺[4]。RM 在高温高压以及机械剪切力等的作用下细胞壁破裂，分子结构被打散，淀粉糊化，蛋白质变性，形成疏松多孔的结构，有助于动物消化酶的作用，提高营养物质利用率。同时，膨化还可以钝化植酸、单宁等抗营养因子，减少单宁、植酸与蛋白质的结合，这些均有利于水解酶的作用进而提高蛋白质的利用率。牟永义等[5]关于膨化菜籽粕（extruded rapeseed meal，ERM）的研究表明，膨化后单宁含量显著减少，味道由涩变甜。Leming 等[6]研究表明，热处理能够降低 RM 中硫苷的含量，是 RM 脱毒的手段之一。同时，湿法热处理要比干法热处理效果好。田珍珍等[7]的研究显示，双低 RM 经膨化后异硫氰酸酯、恶唑烷硫酮破坏严重，单宁含量变化不显著。周利均等[8]的研究表明，RM 经过瞬时高温高压脱毒，其脱毒率达 89.30%~93.30%，将所得脱毒 RM 以高达 23%(即全取代豆粕)的用量用于鸡饲粮时，对鸡的生长性能及肝脏、肾脏和甲状腺功能的影响均不显著。前人研究主要是从加工技术对 RM 脱毒效果和脱毒 RM 对动物生长性能的影响 2 方面进行，评价指标比较单一，并且缺乏膨化加工技术对 RM 营养物质、抗营养因子含量以及 ERM 对生长猪生长性能、营养物质表观消化率影响的综合评价。因此，本试验旨在

探索挤压膨化加工对 RM 营养物质和抗营养因子含量的影响，同时通过生长猪的饲喂试验，考察 ERM 作为蛋白质饲料原料饲喂生长育肥猪的可行性，以期提高 RM 的利用率及其在饲粮中的添加量，降低养殖成本。

1 材料与方法

1.1 RM 膨化加工工艺与参数

RM 为饲料级。试验设备采用本实验室的 TSE65 双螺杆干法挤压膨化机。膨化参数：螺杆转速 30 Hz、模板孔径 4 mm（留 3 孔）、喂料速度 9 Hz、膨化温度 120 ℃、水分添加量 10%。

1.2 试验动物与分组

选用健康且平均体重为(33.82±3.72) kg 的杜×长×大商品代育肥猪 72 头，按体重一致的原则随机分成 6 个组，每个组 3 个重复，每个重复 4 头猪，组间及各个重复体重无显著差异（P>0.05）。

1.3 试验饲粮与设计

试验期为 12 周（前期、后期各 6 周），试验前期 1、3、5 组分别饲喂添加 6%、10%和 14% RM 的玉米-豆粕型饲粮，试验 2、4、6 组分别饲喂添加 6%、10%和 14% ERM 的玉米-豆粕型饲粮；试验后期 1、3、5 组分别饲喂添加 10%、14%和 18% RM 的玉米-豆粕型饲粮，试验 2、4、6 组分别饲喂添加 10%、14%和 18% ERM 的玉米-豆粕型饲粮。试验饲粮参照 NRC（2012）30~120 kg 阶段生长猪营养需求标准并结合实际生产水平配制，试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis) %

项目 Items	1 组 Group 1		2 组 Group 2		3 组 Group 3		4 组 Group 4		5 组 Group 5		6 组 Group 6	
	前期 Early stage	后期 Later stage	前期 Early stage	后期 Later stage	前期 Early stage	后期 Later stage	前期 Early stage	后期 Later stage	前期 Early stage	后期 Later stage	前期 Early stage	后期 Later stage
原料												

Ingredients												
玉米 Corn	59.5	55.5	59.5	55.5	55.5	54.5	55.5	54.5	54.5	62.0	59.5	62.0
豆粕 Soybean meal	20.0	19.5	20.0	19.5	19.5	16.0	19.5	16.0	16.0	4.5	20.0	4.5
菜籽粕 Rapeseed meal	6.0	10.0			10.0	14.0			14.0	18.0		
膨化菜籽粕 Extrusion rapeseed meal			6.0	10.0			10.0	14.0			14.0	18.0
小麦麸 Wheat bran	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
大豆油 Soybean oil	2.5	3.0	2.5	3.0	3.0	3.5	3.0	3.5	3.5	3.5	2.5	3.5
预混料 Premix[1)]	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
合计 Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
营养水平 Nutrient levels[2)]												
粗蛋白质 CP	17.03	14.61	17.49	14.91	17.27	14.67	17.66	14.30	17.53	14.55	17.36	14.71
消化能 DE/	13.64	13.47	13.64	13.47	13.64	13.47	13.64	13.47	13.64	13.47	13.64	13.47

（MJ/kg）												
钙 Ca	0.21	0.23	0.21	0.23	0.24	0.24	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
总磷 TP	0.41	0.44	0.41	0.44	0.46	0.46	0.44	0.46	0.46	0.44	0.46	0.44
赖氨酸 Lys	0.86	0.89	0.86	0.89	0.83	0.83	0.89	0.83	0.83	0.56	0.83	0.56
蛋氨酸＋半胱氨酸 Met+Cys	0.63	0.66	0.63	0.66	0.67	0.67	0.66	0.67	0.67	0.60	0.67	0.60

1)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets:VA 65 000 IU，VD_3 37 500 IU，VE 450 mg，VK_3 15 mg，VB_1 24.2 mg，VB_2 73 mg，VB_6 36.2 mg，VB_{12} 0.73 mg，泛酸 pantothenate 250 mg，叶酸 folic acid 7.5 mg，生物素 biotin 5.0 mg，Fe 2.5 g，Cu 1.5 g，Zn 2.5 g，Mn 0.75 g，I 3.5 mg，Se 5.0 mg。

2)消化能为计算值，其他为实测值。DE was a calculated value, while the others were measured values.

1.4 饲养管理

试验在中国农业科学院南口中试基地进行，正式试验开始前 1 周对猪舍进行清洗并消毒。预试期 3 d，正试期为 12 周（前期、后期各 6 周），采用公母混养的圈养方式进行饲养，试验期间试验猪自由采食，自由饮水，保持猪舍清洁和通风，严格控制室温并定期消毒

1.5 检测指标与方法

1.5.1 营养物质和抗营养因子含量

营养物质：测定粗蛋白质（GB/T 6432-1994，凯氏定氮仪）、粗脂肪（M392885 全自动索氏抽提系统）、氨基酸（L-8900 高速氨基酸自动分析仪）、干物质（GB/T 10358-1989）、粗灰分（GB/T 6438-2007）、钙（GB/T 6436-2002，高锰酸钾法）和总磷（GB/T 6437-2002，分光光度法）含量。

抗营养因子：测定硫苷（NY/T 1582-2007，高效液相色谱法）、植酸（SN/T 3635-2013 分光光度法）、单宁（SN/T 0800.9-1999）、异硫氰酸酯（GB 13087-91，气相色谱法）、恶唑烷硫酮（NY/T 1799-2009，紫外分光光度法）含量。

1.5.2 生长育肥猪生长性能

分别于第 6、12 周末 08:00 空腹称重，以重复为单位计算试验猪末重（FBW）、平均日采食量（ADFI）、平均日增重（ADG）和料重比（F/G）。计算公式如下：

ADG=（末重/只数-初重/只数）/天数；

ADFI=总耗料量/（只数×天数+只数×天数）；

F/G=总采食量/总增重。

1.5.3 营养物质表观消化率

在饲养期的第 6 和 12 周的最后 3 d 每天收集每组猪所产鲜粪便，混匀后称重，按每 100 g 粪便加 5%的 HCl 20 mL 进行处理，然后置于 65 ℃烘箱 72 h，置于室温条件下自然回潮 24 h，粉碎过 40 目筛，制成风干样，保存备用、待测，参照国标方法测定饲粮和粪便中的粗蛋白质、粗脂肪、干物质和酸不溶灰分含量，分别计算粗蛋白质、粗脂肪和干物质表观消化率。

营养物质表观消化率=100-[（饲粮中酸不溶灰分含量（%）×粪便中营养物质含量（%）/（粪便中酸不溶灰分含量（%）×饲粮中营养物质含量（%）]×100。

1.6 数据处理

先用 Excel 2007 作初步统计，采用 SAS 9.2 统计软件中 ANOVA 程序进行单因素方差分析和协方差分析，并均采用 Duncan 氏法检验进行多重比较和显著性分析，数据均以平均值±标准差表示，显著性水平为 $P<0.05$。

2 结果与分析

2. 1 挤压膨化加工对 RM 中营养物质和抗营养因子含量的影响

2.1.1 挤压膨化加工对 RM 中营养物质含量的影响

由表 2 可知，与 RM 相比，ERM 中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、钙和总磷含量都有所增加，其中 ERM 中粗脂肪和干物质含量显著高于 RM($P<0.05$)；ERM 中粗纤维含量略有降低（$P>0.05$）。

表 2 RM 和 ERM 中营养物质含量

Table 2 Nutrient contents in RM and ERM %

项目 Items	菜籽粕 RM	膨化菜籽粕 ERM
干物质 DM	89.17 ± 0.10^{a}	89.68 ± 0.05^{b}

粗蛋白质 CP	38.56±0.10	38.62±0.13
粗脂肪 EE	2.02±0.05[a]	2.17±0.07[b]
粗纤维 CF	12.38±1.18	12.28±1.16
粗灰分 Ash	8.31±0.01	9.15±0.12
钙 Ca	0.83±0.01	0.84±0.01
总磷 TP	1.21±0.02	1.22±0.01

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

由表 3 可知，与 RM 相比，ERM 中半胱氨酸、赖氨酸和精氨酸含量显著降低（P<0.05），其余氨基酸含量无显著变化（P>0.05），总氨基酸含量从 36.64%下降到 36.00%（P>0.05）。

表 3　RM 和 ERM 中氨基酸含量

Table 3　Amino acid contents in RM and ERM　　%

项目 Items		菜籽粕 RM	膨化菜籽粕 ERM
必需氨基酸 EAA	缬氨酸 Val	2.18	2.15
	蛋氨酸 Met	0.33	0.33
	异亮氨酸 Ile	1.70	1.68
	亮氨酸 Leu	2.92	2.92
	苯丙氨酸 Phe	1.74	1.74
	赖氨酸 Lys	2.60[b]	2.38[a]
	组氨酸 His	1.11	1.11
	精氨酸 Arg	2.48[b]	2.35[a]
	苏氨酸 Thr	1.80	1.77
非必需氨基酸	天冬氨酸 Asp	2.95	2.91

NEAA	酪氨酸 Tyr	0.69	0.68
	丝氨酸 Ser	1.72	1.70
	谷氨酸 Glu	7.28	7.26
	甘氨酸 Gly	2.06	2.07
	丙氨酸 Ala	1.85	1.86
	半胱氨酸 Cys	0.68[b]	0.56[a]
	脯氨酸 Pro	2.58	2.54
	总氨基酸 TAA	36.64	36.00

色氨酸(Trp)在酸解过程中被破坏而无法测出。Tryptophan (Trp) in the acid hydrolysis process was destroyed and cannot be measured.

2.1.2 挤压膨化加工对 RM 中抗营养因子含量的影响

由表4可知，与RM相比，ERM中硫苷、植酸含量显著降低（$P<0.05$），分别从16.49 μmol/g和52.38 mg/g降低到了1.96 μmol/g和46.14 mg/g，降低率达88.11%和11.91%；ERM中异硫氰酸酯和恶唑烷硫酮遭到严重破坏，均低于检测限（0.15 mg/g）而未被检出；ERM中单宁含量无显著变化（$P>0.05$）。

表4 RM和ERM中抗营养因子含量

Table 4 Antinutritional factor contents in RM and ERM %

项目 Items	菜籽粕 RM	膨化菜籽粕 ERM
硫苷 GL/（μmol/g）	16.49±0.12[a]	1.96±0.25[b]
植酸 Phytic acid/（mg/g）	52.38±0.09[a]	46.14±3.60[b]
单宁 Tanin/%	1.40±0.00	1.39±0.00
异硫氰酸酯 ITC/（mg/g）	1.21±0.05	—
噁唑烷硫酮 OZT/（mg/g）	0.93±0.01	—

—：未检出 not detected。

2.2 ERM 对生长育肥猪生长性能的影响

由表 5 可知，1~6 周内，同等添加量下，2、4 组 FBW 显著高于 1、3 组（P＜0.05）；4 组 ADFI 显著高于其余各组（P＜0.05）；各组间 ADG 和 F/G 均无显著差异（P>0.05）；随着饲粮中 ERM 添加量的增加，ADFI、ADG、FBW 和 F/G 均呈现先升高后降低的趋势。

7~12 周内，同等添加量下，2、4 组 FBW 高于 1、3 组，而 6 组 FBW 低于 5 组，但差异均不显著（P>0.05）；各组间 ADFI、F/G 均无显著差异（P>0.05）。

1~12 周内，同等添加量下，2、4 组 FBW、ADFI、ADG 均高于 1、3 组，其中 4 组的 FBW 和 ADG 与 3 组差异显著（P＜0.05）；各组间 ADFI、F/G 均无显著差异（P>0.05）。

表 5　ERM 对生长育肥猪生长性能的影响

Table 5　Effects of ERM on growth performance of growing finishing pigs

阶段 Stage	项目 Items	组别 Groups					
		1	2	3	4	5	6
1~6 周 1~6 weeks	初重 IBW/kg	33.93±4.44	33.71±3.13	33.55±3.98	33.72±4.25	33.95±4.16	34.72±2.58
	末重 FBW/kg	62.07±5.51[a]	66.94±2.89[c]	65.81±6.40[a]	72.48±8.24[b]	62.00±7.16[a]	63.06±2.81[a]
	平均日采食量 ADFI/kg	1.63±0.20[a]	2.03±0.16[ab]	1.72±0.22[ab]	2.14±0.35[c]	1.61±0.19[a]	1.73±0.21[ab]
	平均日增重 ADG/kg	0.67±0.04	0.79±0.01	0.69±0.05	0.87±0.13	0.67±0.10	0.65±0.01
	料重比 F/G	2.43±0.16	2.30±0.50	2.51±0.14	2.47±0.08	2.42±0.12	2.34±0.18
7~12 周 7~12 weeks	初重 IBW/kg	62.07±5.51[a]	66.94±2.89[c]	65.81±6.40[a]	72.48±8.24[b]	62.00±7.16[a]	63.06±2.81[a]
	末重 FBW/kg	95.23±7.67	99.36±6.08	100.34±6.35	111.45±14.07	96.96±2.83	95.48±2.35
	平均日采食量 ADFI/kg	2.37±0.25	2.55±0.20	2.50±0.06	2.49±0.13	2.55±0.16	2.55±0.11
	平均日增重 ADG/kg	0.79±0.05[ab]	0.70±0.10[a]	0.82±0.00[ab]	0.93±0.14[b]	0.83±0.10[ab]	0.77±0.01[ab]
	料重比 F/G	3.01±0.15	2.95±0.27	3.04±0.08	3.10±0.00	3.10±0.56	3.17±0.09

1~12 周 1~12 weeks	初重 IBW/kg	33.93±4.44	33.71±3.13	33.55±3.98	33.72±4.25	33.95±4.16	34.72±2.58
	末重 FBW/kg	95.23±7.67[a]	99.36±6.08[a]	100.34±6.35[a]	111.45±14.07[b]	96.96±2.83[a]	95.48±2.35[a]
	平均日采食量 ADFI/kg	2.00±0.22	2.34±0.26	2.11±0.14	2.35±0.17	2.08±0.17	2.03±0.07
	平均日增重 ADG/kg	0.73±0.04[a]	0.75±0.05[a]	0.75±0.03[a]	0.90±0.13[b]	0.75±0.03[a]	0.71±0.01[a]
	料重比 F/G	2.74±0.14	2.42±0.47	2.80±0.10	2.80±0.04	2.77±0.24	2.76±0.16

2.3 ERM 对生长育肥猪营养物质表观消化率的影响

2.3.1 ERM 对生长育肥猪粗蛋白质、干物质和粗脂肪表观消化率的影响

由表 6 可知，1~6 周内，同等添加量下，1、3、5 组粗蛋白质和干物质表观消化率均低于 2、4、6 组，其中 6 组显著高于 5 组（P<0.05），1 组与 2 组之间差异不显著（P>0.05）；6 组粗脂肪表观消化率显著高于 5 组（P<0.05）。随着饲粮中 ERM 含量的增加，粗脂肪、干物质和粗蛋白质表观消化率逐渐升高；随着饲粮中 RM 含量的增加，粗脂肪、干物质和粗蛋白质表观消化率先升高后降低。

7~12 周内，同等添加量下，2、4、6 组干物质、粗脂肪和粗蛋白质表观消化率均高于 1、3、5 组。随着饲粮中 ERM 含量的增加，粗蛋白质和干物质表观消化率逐渐降低，粗脂肪表观消化率逐渐升高；随着饲粮中 RM 含量的增加，粗蛋白质和干物质表观消化率先升高后降低，粗脂肪表观消化率逐渐升高。

表 6　ERM 对生长育肥猪粗蛋白质、干物质和粗脂肪表观消化率的影响

Table 6　Effects of ERM on CP, DM and EE apparent digestibilities of growing finishing pigs　　%

阶段 Stage	项目 Items	组别 Groups					
		1	2	3	4	5	6
1~6 周 1~6	粗蛋白质 CP	81.25±0.34[ab]	81.59±0.34[abc]	81.38±2.94[ab]	84.00±2.02[bc]	78.70±0.58[a]	84.31±0.71[c]
	粗脂肪 EE	77.36±3.41[a]	79.57±2.13[ab]	84.28±1.22[bc]	82.16±4.24[ab]	80.02±3.61[ab]	88.20±1.01[c]

weeks	干物质 DM	81.06±0.35^{b}	82.54±0.10^{b}	81.88±1.44^{b}	84.50±1.09^{c}	78.33±0.33^{a}	85.08±0.67^{c}
7~12	粗蛋白质 CP	79.74±0.13^{ab}	84.54±0.41^{c}	81.54±0.26^{ab}	82.23±1.87^{bc}	78.74±1.37^{a}	80.00±2.90^{ab}
周	粗脂肪 EE	81.18±1.53^{a}	87.94±0.64^{b}	87.68±1.39^{b}	89.97±1.51^{b}	88.98±2.60^{b}	90.53±1.56^{b}
7~12 weeks	干物质 DM	79.33±0.23^{a}	84.51±0.40^{d}	82.56±0.31^{bcd}	83.76±1.03^{cd}	81.26±1.20^{ab}	82.05±2.58^{bc}

2.3.2 ERM 对生长育肥猪氨基酸表观消化率的影响

由表 7 可知，1~6 周内，同等添加量下，6 组除蛋氨酸、丝氨酸和谷氨酸表观消化率与 5 组差异不显著（P>0.05）外，其余氨基酸表观消化率 6 组均显著高于 5 组（P<0.05），其余各组之间差异不显著（P>0.05）。随着饲粮中 ERM 含量的增加，大部分氨基酸表观消化率先降低后升高；随着饲粮中 RM 含量的增加，大部分氨基酸表观消化率先略有升高后大幅度降低。

7~12 周内，同等添加量下，2 组缬氨酸、异亮氨酸、赖氨酸、组氨酸、苏氨酸、天冬氨酸、酪氨酸、谷氨酸、甘氨酸、半胱氨酸、脯氨酸和总氨基酸表观消化率显著高于 1 组（P<0.05），其余各组之间各氨基酸表观消化率均差异不显著（P>0.05）。随着饲粮中 ERM 含量的增加，大部分氨基酸表观消化率逐渐降低；随着饲粮中 RM 含量的增加，大部分氨基酸表观消化率先升高后降低。

表 7 ERM 对生长育肥猪氨基酸表观消化率的影响

Table 7 Effects of ERM on of amino acids apparent digestibilities of growing finishing pigs %

阶段 Stage		项目 Items	组别 Groups					
			1	2	3	4	5	6
1~6 周	必	缬氨酸 Val	80.43±0.90^{b}	81.24±0.55^{b}	82.21±1.74^{b}	80.47±2.86^{b}	74.99±1.63^{a}	83.44±1.11^{b}
1 to 6	需	蛋氨酸 Met	83.41±6.24^{ab}	82.11±4.57^{ab}	81.14±6.76^{ab}	77.50±3.55^{a}	84.29±4.35^{ab}	89.21±2.34^{b}
weeks	氨	异亮氨酸 Ile	79.17±1.37^{b}	80.23±0.73^{b}	81.31±2.07^{b}	79.54±3.03^{b}	73.53±1.69^{a}	82.29±1.22^{b}

	基酸 EAA	亮氨酸 Leu	83.89±1.02^{b}	85.19±0.20^{bc}	85.66±1.81^{bc}	84.7±1.91^{bc}	80.46±1.00^{a}	86.66±0.82^{c}
		苯丙氨酸 Phe	84.15±0.74^{b}	85.15±0.68^{b}	86.07±1.55^{b}	84.71±1.82^{b}	80.37±1.27^{a}	86.15±0.83^{b}
		赖氨酸 Lys	83.86±3.08^{ab}	83.04±0.63^{ab}	84.99±2.42^{b}	83.82±3.40^{ab}	79.65±0.88^{a}	86.47±0.70^{b}
		组氨酸 His	89.09±1.08^{ab}	90.94±0.65^{b}	91.35±1.38^{b}	89.64±1.86^{b}	86.95±1.72^{a}	91.38±0.45^{b}
		精氨酸 Arg	91.97±0.57^{b}	93.02±0.28^{b}	93.25±0.89^{b}	91.88±0.73^{b}	89.89±0.78^{a}	92.97±0.78^{b}
		苏氨酸 Thr	79.79±1.04^{ab}	81.56±0.35^{bcd}	83.11±2.12^{cd}	80.78±2.21^{bc}	77.10±1.05^{a}	83.80±1.08^{d}
	非必须氨基酸 NEAA	天冬氨酸 Asp	82.97±1.12^{b}	83.64±0.07^{b}	84.95±1.88^{b}	83.12±2.67^{b}	77.98±1.03^{a}	85.31±0.99^{b}
		酪氨酸 Tyr	81.12±1.02^{ab}	81.94±0.95^{b}	83.88±2.87^{bc}	82.68±1.58^{bc}	78.03±2.81^{a}	86.08±1.95^{c}
		丝氨酸 Ser	86.15±0.87^{a}	87.56±0.24^{b}	88.28±1.61^{b}	86.84±1.35^{b}	83.66±0.88^{b}	87.96±1.00^{b}
		谷氨酸 Glu	89.19±0.64^{a}	89.54±0.15^{b}	89.93±1.60^{b}	89.30±1.69^{b}	86.16±0.64^{b}	91.16±0.61^{b}
		甘氨酸 Gly	80.33±0.64^{ab}	80.69±0.66^{ab}	82.39±1.62^{bc}	80.14±2.82^{ab}	76.67±1.26^{a}	83.84±1.36^{c}
		丙氨酸 Ala	79.09±0.84^{b}	79.90±0.36^{b}	80.57±2.44^{b}	79.11±3.30^{b}	72.55±2.45^{a}	82.56±1.34^{b}
		半胱氨酸 Cys	86.73±0.53^{bc}	86.71±1.21^{bc}	88.84±1.74^{bc}	85.91±1.74^{b}	82.66±3.26^{a}	89.19±0.79^{c}
		脯氨酸 Pro	87.43±0.75^{b}	88.69±0.09^{b}	88.51±1.18^{b}	87.34±1.83^{b}	84.04±0.57^{a}	89.07±0.70^{b}
		总氨基酸 TAA	84.70±0.87^{b}	85.45±0.23^{b}	86.25±1.72^{b}	84.85±2.15^{b}	80.84±1.09^{a}	87.14±0.89^{b}
7~12周 7 to 12 weeks	必需氨基酸 EAA	缬氨酸 Val	77.62±0.64^{a}	81.86±1.10^{b}	79.66±1.11^{ab}	81.46±2.21^{ab}	78.96±2.85^{ab}	80.37±1.49^{ab}
		蛋氨酸 Met	81.33±8.16	83.15±9.69	85.67±5.3	89.16±1.74	86.89±2.59	83.23±8.23
		异亮氨酸 Ile	75.32±0.52^{a}	79.85±1.19^{b}	77.37±1.00^{ab}	79.46±2.64^{b}	75.91±2.50^{ab}	77.56±2.26^{ab}
		亮氨酸 Leu	82.93±0.57	85.81±0.74	83.71±1.32	85.69±1.72	83.81±2.51	84.59±1.23
		苯丙氨酸 Phe	82.48±1.16	86.37±1.52	83.05±0.79	85.99±0.67	85.09±4.38	85.02±2.66
		赖氨酸 Lys	79.37±1.91^{a}	85.22±3.05^{b}	83.13±1.52^{ab}	84.27±2.37^{b}	82.00±2.58^{ab}	83.71±0.40^{ab}
		组氨酸 His	86.59±1.39^{a}	90.35±0.52^{b}	88.37±0.60^{ab}	90.04±0.88^{b}	88.42±2.49^{ab}	89.31±0.76^{b}
		精氨酸 Arg	89.34±1.41^{ab}	91.78±0.14^{b}	90.33±0.83^{ab}	90.92±0.96^{ab}	89.25±2.05^{a}	89.99±0.45^{ab}

	苏氨酸 Thr	78.16±0.25[a]	82.48±0.54[b]	79.46±1.30[ab]	81.75±1.39[ab]	79.09±3.55[ab]	79.6±0.49[ab]
	天冬氨酸 Asp	78.65±0.27[a]	83.62±0.79[b]	80.59±0.79[ab]	80.69±3.14[ab]	76.57±2.93[a]	80.14±1.06[ab]
非必须氨基酸 NEAA	酪氨酸 Tyr	76.07±0.01[a]	83.86±0.58[b]	81.56±1.24[ab]	82.06±4.17[ab]	80.19±4.28[ab]	81.62±1.97[ab]
	丝氨酸 Ser	84.49±0.68	87.05±0.34	84.16±1.13	86.23±0.53	84.05±3.01	83.99±0.23
	谷氨酸 Glu	87.73±0.57[a]	90.19±0.58[b]	89.34±0.15[ab]	89.32±1.71[ab]	87.46±1.73[a]	89.49±0.57[ab]
	甘氨酸 Gly	78.55±0.69[a]	82.77±0.93[b]	80.46±1.17[ab]	82.49±1.83[ab]	80.28±3.32[ab]	81.36±0.75[ab]
	丙氨酸 Ala	77.09±0.30	81.78±1.21	79.73±1.41	80.96±3.15	78.32±3.48	81.13±1.44
	半胱氨酸 Cys	82.82±0.38[a]	85.89±0.92[b]	86.83±0.54[b]	87.77±1.42[b]	86.63±1.63[b]	85.94±3.15[b]
	脯氨酸 Pro	84.41±1.60[a]	88.26±0.64[b]	85.87±1.05[ab]	87.07±0.58[ab]	85.75±2.33[ab]	86.89±0.25[ab]
	总氨基酸 TAA	82.41±0.60[a]	86.01±0.88[b]	83.98±0.62[ab]	85.18±1.73[ab]	83.03±2.67[ab]	84.41±1.04[ab]

3 讨 论

3.1 挤压膨化加工对 RM 中营养物质和抗营养因子含量的影响

3.1.1 挤压膨化加工对 RM 中营养物质含量的影响

RM 经过挤压膨化加工后，干物质、粗蛋白质、钙和总磷含量均略有增加，但差异不显著，这说明了挤压膨化加工对 RM 中的营养物质含量影响不大。而郭建林等[9]研究结果显示，挤压膨化加工对蛋白质有一定的破坏作用，与本研究结果不一致，可能是由于挤压膨化加工的条件不同。而且，郭建林等[9]的研究结果中蛋白质含量也无显著差异。挤压膨化加工显著提高了 RM 中粗脂肪和干物质的含量，可能是因为 RM 在挤压膨化加工过程中高温、高压、高剪切力作用下细胞壁被破坏，部分油脂从细胞中流出转移到物料中[10]。对于粗纤维而言，RM 经挤压膨化后粗纤维含量略有降低，这主要是因为蛋白质发生热变性后产生的梅拉德产物增加，从而导致中性洗涤纤维含量增加，其含量随 RM 的热处理温度和挤压强度的升高而呈线性增加[11]。还有研究认为纤维分子之间的化学键会由于膨化中产生的高压、高温和高剪切力而发生断裂，从而使得分子极性发生改变，产品经膨化处理，粗纤维含量会显著降低，可溶性纤维含量会有所升高[7]。本试验结果与钟永兴[12]研究 RM 膨化后粗纤维含量降低的结

果一致。

3.1.2 挤压膨化加工对 RM 中抗营养因子含量的影响

本试验中 RM 经过挤压膨化后硫苷消除率高达 88.11%，与 Huang 等[13]研究 RM 挤压膨化后硫苷大量被破坏的结果一致；植酸消除率达 11.91%，说明植酸虽然受热易分解，但在 120 ℃以下短时间受热是相对稳定的，由此可见挤压加工对植酸的影响不大，这与解铁民[14]的研究结果相同。单宁消除率仅为 1.43%，这与肖志刚等[15]在挤压膨化对 RM 中单宁含量的影响中的研究结果（单宁消除率可达 50%）不一致，本研究中单宁含量基本没变化，原因可能是本试验中含水量低、螺杆转速较高，而低含水量不利于物料从挤压机模孔挤出时的瞬间膨化，高螺杆转速物料在膨化腔中停留时间短，导致单宁被钝化程度降低；而异硫氰酸酯和恶唑烷硫酮被大量破坏，低于检测限未检出，与田珍珍等[7]研究结果一致。

3.1.3 挤压膨化加工对 RM 中氨基酸含量的影响

RM 中氨基酸较为均衡，其主要的限制性氨基酸是赖氨酸，但是其蛋氨酸以及半胱氨酸含量丰富。在 RM 的加工过程中，RM 的质量对过热处理十分敏感，主要原因是过热处理时发生梅拉德反应，不仅导致赖氨酸含量的降低，而且会引发必需氨基酸有效性的降低，特别是赖氨酸[16]。本研究中，RM 经过挤压膨化后非必需氨基酸胱氨酸和必需氨基酸赖氨酸、精氨酸的含量显著降低，其余氨基酸含量无显著变化，总氨基酸含量从 36.64%下降到 36.00%，主要是因为胱氨酸、赖氨酸和精氨酸是热敏感性氨基酸，膨化过程中温度过高一定程度上破坏了这 3 种氨基酸[17]，另外在激烈的挤压膨化条件下，赖氨酸可与饲粮中的一些还原糖或其他羰基化合物发生美拉德反应，造成赖氨酸的损失，蛋白质的生物学效价降低[18]，这些原因导致了总氨基酸含量略有降低。

3.2 ERM 对生长育肥猪生长性能的影响

RM 通过膨化热处理，可钝化 RM 中芥子酶，从而影响了芥子酶分解硫苷为有毒性产物的进程，起到部分去毒、提高适口性和消化率的作用[19]。本试验中在饲粮中添加不同梯度（前期 6%、10%、14%；后期 10%、14%、18%）的 ERM，与同等添加量的 RM 相比，能增加生长猪的 FBW、ADFI 和 ADG，同时降低 F/G，说明添加 ERM 的饲粮适口性较添加 RM 的饲粮更好，当 ERM 添加量前期为 10%、后期为 14%时，F/G 最优，对生长育肥猪促生长效果最好，且在一定范围内随 ERM 添加量的上升，生长育肥猪的 FBW、ADFI 和 ADG

呈先升高后下降的趋势。其原因一方面可能 RM 经膨化挤压处理后，RM 中的抗营养因子被大量破坏，干物质和蛋白质消化率均有不同程度地提高，粗脂肪和粗纤维消化率显著提高[20]，同时还产生了特有的香味，适口性得以改善，从而提高了猪的采食量，进而提高了 ADG；另一方面，膨化处理使菜籽蛋白质天然结构破坏，二硫键断裂，肽键展开，失去其天然蛋白质性质。变性蛋白质结构疏松，表面积扩大，易被蛋白酶水解和动物消化[21]。随着饲粮中 ERM 添加量的增加，饲粮中的抗营养因子含量相对增加，当饲粮中单宁、植酸等抗营养因子含量超过育肥猪的承受值时，一定程度上会降低饲粮的适口性和蛋白质的消化利用率，使生长猪生长性能下降。

3.3 ERM 对生长育肥猪营养物质表观消化率的影响

3.3.1 ERM 对生长育肥猪粗蛋白质、干物质、粗脂肪表观消化率的影响

生长育肥猪饲粮消化能和营养物质表观消化率主要受到饲粮的化学组成、加工处理方式、动物性别和生理状态、检测方法和饲喂水平等的影响[22]。通常饲粮中纤维含量较高时就会影响营养物质的消化吸收，尤其是蛋白质、矿物元素和氨基酸[23]。而蛋白质饲料经不同加工工艺加工后其营养价值和营养物质消化利用率也可能存在较大差异，因为过分熟化会导致蛋白质消化利用率的下降。本试验中，RM 经过膨化处理后，干物质、粗脂肪和粗蛋白质表观消化率都有显著增加，而且随着饲粮中 ERM 添加量的增加，各营养物质表观消化率也逐渐增加；随着饲粮中 RM 添加量的增加，各营养物质表观消化率呈现降低的趋势，这说明膨化加工提高了 RM 的营养物质表观消化率。这可能是因为 RM 膨化时，菜籽纤维由于高温、高压和膨胀作用，使细胞间及细胞壁内各层木质素破坏，使部分氢键断裂，结晶度降低，高分子物质发生分解反应，原有的紧密结构变得膨松，释放出部分被包围、结合的可消化物质，扩大了其消化面积，从而提高了这部分饲料的消化率和利用率[24]。同时，膨化处理使菜籽蛋白质天然结构破坏，二硫键断裂，肽键展开，失去其天然蛋白质性质。变性蛋白质结构疏松，表面积扩大，易被蛋白酶水解和动物消化[25]。同时，张群英等[26]研究结果表明，营养物质表观消化率随采食量的增加而增加，RM 膨化后钝化了许多抗营养因子，改善了适口性，从而生长猪采食量增加，营养物质表观消化率增加。所以，适度的膨化处理有利于改善蛋白质的品质，但如果加热过度，原料中的还原糖或其他羰基化合物与赖氨酸发生美拉德反应，引起赖氨酸有效性降低，从而降低蛋白质的生物学效价[27]。

3.3.2　ERM 对生长育肥猪氨基酸表观消化率的影响

饲粮蛋白质营养价值不仅取决于总氨基酸含量，还与氨基酸利用程度有关。氨基酸的利用率是指饲粮中能够被消化并通过肠壁被吸收的那部分氨基酸占总氨基酸的比例。氨基酸的利用受消化率的影响最大，消化后的氨基酸仅有很小部分不能为体内代谢所利用[28]。席鹏彬等[29]研究发现，RM 中多数氨基酸(除半胱氨酸和蛋氨酸外)表观消化率与饲粮中相应氨基酸水平呈正相关关系，与 Fan 等[30]的报道一致。本试验中，经挤压膨化加工后，ERM 中的总氨基酸含量（17 种）略低于 RM，这与钟永兴[12]的研究结果相反，可能是因为挤压膨化加工的工艺参数和 RM 的种类不同而导致了结果的差异；经挤压膨化加工后，17 种氨基酸表观消化率均有不同程度地提高，其中除个别氨基酸外，前期 14%ERM 组显著高于 14%RM 组，后期 10%ERM 组显著高于 10%RM 组，这与钟永兴[12]研究中 ERM 氨基酸表观消化率显著高于 RM 的结果一致。

4. 结　论

①RM 经挤压膨化加工后提高了粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、钙、总磷的含量以及干物质、粗脂肪、粗蛋白质和氨基酸的表观消化率，降低了粗纤维、赖氨酸、精氨酸和半胱氨酸的含量，对其他氨基酸含量无显著影响。

②RM 经挤压膨化加工后显著降低了硫苷、植酸、异硫氰酸酯和恶唑烷硫酮等抗营养因子的含量，但对单宁含量影响不大。

③ERM 显著提高了生长育肥猪的 ADG、ADFI 和 FBW，还有降低 F/G 的趋势。随着饲粮中 ERM 添加量的增加，生长育肥猪生长性能先升高后降低。

④建议 30~60 kg 的生长育肥猪饲粮中 ERM 适宜添加量为 10%，61~120 kg 的生长育肥猪饲粮中 ERM 适宜添加量为 14%。

参考文献：

[1] 刘振利,彭健.双低菜籽粕在动物日粮中的使用技术[J].畜牧兽医科技信息,2009(1):112–113.

[2] 朱文优.菜籽粕的营养价值与毒性[J].江西饲料,2009(增刊):10–12.

[3] NAIR R B,JOY R W,SCHNAIDER J,et al.Metabolic engineering of the sinapine content of brassica napus seeds[C]//Rapeseed Congress (CD-Rom).Canberra:[s.n.],1999.

[4] 周兆毅.膨化乳猪颗料饲料技术探讨[J].粮食与饲料工业,1995(9):26–27.

[5] 牟永义,周韬.菜籽饼粕热喷脱毒技术及工艺[J].中国饲料,1993(9):25–27.

[6] LEMING R,LEMBER A,KUKK T.The content of individual glucosinolates in rapeseed and rapeseed cake produced in Estonia[J].Agraarteadus,2004,15(1):21–27.

[7] 田珍珍,李军国,赵文恩,等.不同水分添加量对膨化菜籽粕品质的影响研究[J].饲料工业,2015,36(3):32–36.

[8] 周利均,高雪,周淑平,等.脱毒菜籽饼粕对鸡毒副作用的研究[J].贵州科学,1995,13(2):46–48.

[9] 郭建林,叶元土,伍代勇,等.膨化对植物性饲料原料草鱼离体消化率的影响[J].中国饲料,2005(24):24–26.

[10] 张兆国,马佳乐,王迪,等.油菜籽在挤压机腔体内变化规律的研究[J].中国油脂,2016,41(3):103–106.

[11] 陈刚,彭健,刘振利,等.中国菜籽饼粕品质特征及其影响因素研究[J].中国粮油学报,2006,21(1):95–99.

[12] 钟永兴.菜籽粕和棉粕的膨化处理对生长猪氨基酸消化率的影响[D].硕士学位论文.广州:华南农业大学,2007:6.

[13] HUANG S,LIANG M,LARDY G,et al.Extrusion processing of rapeseed meal for reducing glucosinolates[J].Animal Feed Science and Technology,1995,56(1/2):1–9.

[14] 解铁民.干法挤压膨化菜籽油脂及粕品质的试验研究[D].博士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2008.

[15] 肖志刚,吴谋成,申德超,等.挤压膨化对菜籽粕中单宁含量的影响分析[J].农业机械学报,2008,39(7):85–89.

[16] 彭健,SLOMINSK B A,GUENTER W,等.中国双低油菜饼粕与加拿大卡诺拉粕品质特性的化学评价[J].中国兽医学报,2000,20(4):405–408.

[17] SINGH S,GAMLATH S,WAKELING L.Nutritional aspects of food extrusion:a review[J].International Journal of Food Science & Technology,2007,42(8):916–929.

[18] 蒋林树,陈学珍.干法挤压膨化对大豆营养品质及电镜结构变化的影响研究[J].中国奶牛,2007(1):11–14.

[19] 王剑英,王毛毛,陈廷元.膨化菜籽粕在罗非鱼饲料中的饲喂试验[J].中国饲料,1997(5):28–29.

[20] RICHTER G,LEMSER A,BARGHOLZ J.Rapeseed and rapeseed meal as components in diets of laying hens[J].Archiv für Tierernaehrung,1996,49(3):229–241.

[21] 左志安.膨化菜籽、啤酒糟在肉鸭日粮中的应用及其代谢能、可利用氨基酸的测定[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2003.

[22] LE GOFF G,NOBLET J.Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows[J].Journal of Animal Science,2001,79(9):2418–2427.

[23] EGGUM B O.The influence of dietary fibre on protein digestion and utilization in monogastrics[J].Archiv für Tierernaehrung,1995,48(1/2):89–95.

[24] 严宏祥.挤压膨化技术对饲料营养特性的影响[J].湖南饲料,2006(5):35–36,34.

[25] 金征宇.挤压膨化于后添加技术在饲料工业中的应用[C]//饲料技术讲座文集(1997–2004).[s.l.]:美国大豆协会,2000:341–360.

[26] 张群英,王康宁.用回—直肠吻合术测定猪饲料氨基酸消化率的研究[J].四川农业大学学报,1996,14(增刊):11–18,57.

[27] 李俊波.猪对陈化早籼糙米的养分利用机理研究[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2004.

[28] 李德发.中国饲料大全[M].北京:中国农业出版社,2001:771–782.

[29] 席鹏彬,李德发,龚利敏,等.中国不同品种菜籽粕猪回肠氨基酸消化率研究[J].中国畜牧杂志,2002,38(4):5–7.

[30] FAN M Z,SAUER W C,GABERT V M.Variability of apparent ileal amino acid digestibility in canola meal for growing-finishing pigs[J].Canadian Journal of Animal Science,1996,76(4):563–569.

Effects of Extrusion on Antinutritional Factor Content in Rapeseed Meal and Expanded Rapeseed Meal on Growth Performance of Growing Finishing Pigs

NI Haiqiu[1] YANG Yujuan[1,2] YU Jibin[1] MA Shifeng[1] WANG Hao[1] SHANG Fangfang[1] LI Junguo[1,3*]

（1. *Feed Research Institute*, *Chinese Academy of Agriculture Sciences*, *Beijing* 100081, *China*; 2. *Institute of Food and Nutrition Development, Ministry of Agriculture*, *Beijing* 100081, *China*; 3. *Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture*, *Beijing* 100081, *China*）

Abstract: The experiment was conducted to study the effects of extrusion on antinutritional factor and nutrient content in rapeseed meal (RM) and expanded rapeseed meal (ERM) on growth performance and nutrient apparent digestibility of growing finishing pigs. Experiment 1: TSE65 twin-screw extruder and optimized processing parameters in our laboratory were used to expand the feed grade RM, and measured the contents of antinutritional factor and nutrient in RM and ERM. Experiment 2: used EM and ERM as the main experiment materials, seventy-two healthy growing finishing pigs (Duroc×Landrace×Large White) with the body weight of （33.82±3.72） kg were randomly allocated to 6 groups with 3 replicates per group and 4 pigs per replicate. In the 1 to 6 weeks of the experiment, groups 1, 3 and 5 were fed the diets supplemented with 6%, 10% and 14% RM, respectively, groups 2, 4 and 6 were fed the diets supplemented with 6%, 10% and 14% ERM, respectively; in the 7 to 12 weeks of the experiment, groups 1, 3 and 5 were fed the diets supplemented with 10%, 14% and 18% RM, respectively, groups 2, 4 and 6 were fed the diets supplemented with 10%, 14% and 18% ERM, respectively. The experiment lasted for 7 weeks. The results showed as follows: 1) compared with RM, the contents of dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE), crude ash, calcium and total phosphorus in ERM were increased, and the contents of EE and crude ash in ERM were significantly increased (P<0.05), the contents of cystine, lysine and arginine in ERM were significantly decreased (P<0.05), the content of total amino acids in ERM was decreased by 1.75% （P>0.05), the contents of glucosinolates and phytic acid in ERM were significantly decreased (P<0.05), the contents of sulfur isothiocyanates and pbo alkane ketone in ERM were lower than the detection limit of 0.15 mg/g, and the content of tannin in ERM had no significant change （P>0.05). 2） In the experiment of 1 to 6 weeks, under the same add amount of EM and REM, the body weight (FBW) of groups 2 and 4 was significantly higher than that of groups 1 and 3 (P<0.05); the average daily feed intake (ADFI) of group 4 was significantly higher than that of other groups (P<0.05); there were no

significant differences in average daily gain (ADG) and feed to gain ratio (F/G) among all groups （*P*>0.05）; the apparent digestibilities of CP, EE and DM of group 6 were significantly higher than those of group 5 (*P*<0.05); the amino acid apparent digestibilities of group 6 were significantly higher than those of group 5 except methionine, serine and glutamic acid (*P*<0.05). In the experiment of 7 to 12 weeks, under the same add amount of EM and REM, the FBW of groups 2 and 4 was higher than that of groups 1 and 3（*P*>0.05）, the FBW of group 6 was lower than that of group 5 （*P*>0.05）; the apparent digestibilities of CP, EE and DM of group 2 were significantly higher than those of group 1 (*P*<0.05); the apparent digestibilities of valine, isoleucine, lysine, histidine, threonine, aspartic acid, tyrosine, glutamic acid, glycine, cysteine, proline and total amino acids of group 2 were significantly higher than those of group 1 (*P*<0.05). In conclusion, extrusion processing can improve the nutrient value of RM and reduce a variety of antinutritional factors content. Adding ERM in finishing diets can improve the growth performance and nutrient apparent digestibility of finishing pigs. It is suggested that the amount of ERM in the 30 to 60 kg finishing pig diet is 10%, and that in 60 to 120 kg finishing pig diet is 14%.

Key words: expanded rapeseed meal; growing finishing pigs; antinutritional factor; growth performance; apparent digestibility

---

*Corresponding author, professor, E-mail: lijunguo@caas.cn （责任编辑　武海龙）